

PAT-NO: JP02004141897A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2004141897 A

TITLE: FRICTION STIR WELDING TOOL AND METHOD FOR  
MANUFACTURING WELDED JOINT

PUBN-DATE: May 20, 2004

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
NAGANO, YOSHITAKA	N/A
HASHIMOTO, TAKENORI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SHOWA DENKO KK	N/A

APPL-NO: JP2002307605

APPL-DATE: October 22, 2002

INT-CL (IPC): B23K020/12

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a friction stir welding tool which can increase a welding speed, and a method for manufacturing a welded joint using the friction stir welding tool.

SOLUTION: The welding tool has a small diameter prove 12 and a large diameter rotor 11. The prove 12 is protrusively provided on the tip end face 11a of the rotor 11. A spiral shape groove 13 is provided on the tip end face 11a of the rotor 11 so as to surround the prove 12. Further, a longitudinal groove 15 is provided on the outer peripheral surface of the prove 12 so as to elongate in the axial direction of the prove. The longitudinal

groove 15 is  
slightly twisted in a twisted angle  $\alpha$ ; with respect to the axis  
of the  
prove.

COPYRIGHT: (C) 2004, JPO

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-141897

(P2004-141897A)

(43) 公開日 平成16年5月20日(2004.5.20)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

B23K 20/12

F1

B23K 20/12 344

テーマコード (参考)

4E067

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2002-307605 (P2002-307605)  
(22) 出願日 平成14年10月22日 (2002.10.22)(71) 出願人 000002004  
昭和電工株式会社  
東京都港区芝大門1丁目13番9号  
(74) 代理人 100071168  
弁理士 清水 久義  
(74) 代理人 100099885  
弁理士 高田 健市  
(74) 代理人 100099874  
弁理士 黒瀬 靖久  
(74) 代理人 100114764  
弁理士 小林 正樹  
(72) 発明者 長野 喜隆  
栃木県小山市犬塚1丁目480番地 昭和  
電工株式会社小山事業所内

最終頁に続く

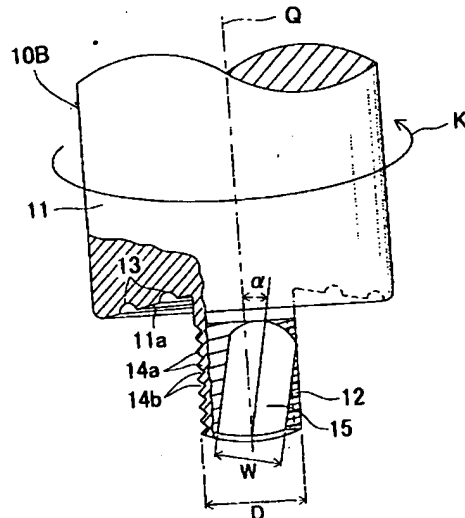
(54) 【発明の名称】 摩擦撓拌接合工具及び接合継手の製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 接合速度を速くすることのできる接合工具及びこれを用いた接合継手の製造方法を提供すること。

【解決手段】 この発明の接合工具は、径小のプロープ12と径大の回転子11を備える。プロープ12は回転子11の先端面11aに突出状に設けられている。回転子11の先端面11aには、プロープ12を取り巻く態様で渦巻き状の溝13が設けられている。さらに、プロープ12の外周面には、該プロープ軸線方向に延びた縦溝15が設けられている。この縦溝15はプロープ軸線に対して捻れ角 $\alpha$ で僅かに捻れている。

【選択図】 図5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

2 個の接合部材の接合予定部又はその近傍部中に埋入される径小のプロープと、前記両接合部材のうち少なくとも一方の接合部材の表面に先端部が当接される径大の回転子とを備え、

前記回転子の先端面に、前記プロープが突設された摩擦攪拌接合工具において、前記回転子の先端面に、前記プロープを取り巻く状態で渦巻き状の溝が設けられるとともに、

前記プロープの外周面に、該プロープ軸線方向に延びた縦溝が設けられていることを特徴とする摩擦攪拌接合工具。

10

## 【請求項 2】

前記プロープ軸線に対する前記縦溝の捻れ角を  $\alpha$  とするとき、 $\alpha$  が、 $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$

の関係式を満足している請求項 1 に記載の摩擦攪拌接合工具。

## 【請求項 3】

前記縦溝の幅を  $W$ 、前記プロープの直径を  $D$  とするとき、 $W$  が、 $0.5D \leq W \leq D$

の関係式を満足している請求項 1 又は 2 に記載の摩擦攪拌接合工具。

## 【請求項 4】

前記縦溝は、断面円弧状に形成されており、

前記縦溝の断面の曲率半径を  $R$ 、前記プロープの直径を  $D$  とするとき、 $R$  が、 $0.5D \leq R \leq 2D$

の関係式を満足している請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の摩擦攪拌接合工具。

20

## 【請求項 5】

前記回転子の先端面は、その外周縁の全ての部分から前記先端面の回転中心部に向かって窪んだ凹面に形成されている請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の摩擦攪拌接合工具。

## 【請求項 6】

突合せ接合用のものである請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の摩擦攪拌接合工具。

## 【請求項 7】

請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の摩擦攪拌接合工具を用いて、接合を行うことを特徴とする接合継手の製造方法。

30

## 【請求項 8】

回転している前記プロープを突合せ状に配置された 2 個の接合部材の突合せ部又はその近傍部中に埋入するとともに、回転している前記回転子の先端部を前記両接合部材のうち少なくとも一方の接合部材の表面に当接させた状態に配置し、

この状態で、前記回転子の回転軸線を接合方向の前方側及び後方側に傾斜させないで、前記プロープを両接合部材に対して相対的に移動させることにより、突合せ接合を行う請求項 7 に記載の接合継手の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

40

## 【発明の属する技術分野】

この発明は、摩擦攪拌接合工具及び接合継手の製造方法に関し、詳述すると、例えば、アルミニウム材やその合金材等の金属材からなる 2 個の接合部材を接合一体化する際に好適に用いられる摩擦攪拌接合工具及びこれを用いた接合継手の製造方法に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来の摩擦攪拌接合工具 (60) は、図 8 に示すように、径大の回転子 (61) と、該回転子 (61) の先端面 (61a) の回転中心部に突設された径小のプロープ (62) とを備えている。同図において、(Q') は回転子 (61) の回転軸線である。また、(51) 及び (52) は板状の金属製接合部材である。両接合部材 (51) (52) は突合せ状

50

に配置されている。(53)は両接合部材(51)(52)の突合せ部である。

【0003】

従来の接合工具(60)を用いて両接合部材(51)(52)の突合せ部(53)の接合を行う場合には、まず回転しているプローブ(62)を突合せ部(53)中に埋入するとともに、回転している回転子(61)の先端部を両接合部材(51)(52)の双方の表面に押し付ける。そして、この状態を維持したままで、プローブ(62)を突合せ部(53)に沿って両接合部材(51)(52)に対して相対的に移動(その移動方向M')させる。このプローブ(62)の移動操作により、両接合部材(51)(52)の突合せ部(53)のプローブ通過部分が接合(その接合部J')されて該両接合部材(51)(52)が一体化される。

10

【0004】

而して、従来の接合工具(60)として、プローブ(62)の外周面に攪拌用凸部又は凹部(図示せず)が螺旋状に設けられたものが知られている(例えば、特許文献1及び特許文献2参照。)

【0005】

また、従来の接合工具(60)として、回転子(61)の先端面(61a)にプローブ(62)を取り巻く態様で渦巻き状又は環状の溝(図示せず)が設けられたものも知られている(例えば、特許文献3参照。)

【0006】

【特許文献1】

20

特開平10-249551号公報(第4-6頁、第3-5図)

【0007】

【特許文献2】

特開2001-71155号公報(第7頁、第9-11図)

【0008】

【特許文献3】

特開2002-96183号公報(第4-5頁、第1-4図)

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の双方の接合工具(60)には次のような難点があった。

30

【0010】

前者の接合工具によれば、これを用いて接合を行う際には、同図に示すように、回転子(61)の回転軸線(Q')を接合方向の後方側(即ちプローブの移動方向後方側)に傾斜させた状態のままでプローブ(62)を移動させなければならず、そのため、接合操作が困難になるし、更には接合部(J')の表面が凹んで該接合部(J')の肉厚が減少してしまう結果、接合強度が低下するという難点があった。なお、同図において、( $\theta$ )は、両接合部材(51)(52)のプローブ埋入位置における表面の法線(N)に対する、接合工具(60)の回転子(61)の回転軸線(Q')の接合方向後方側への傾斜角を示している。

【0011】

40

後者の接合工具によれば、これを用いて接合を行う際には、回転子(61)の回転軸線(Q')を接合方向の後方側に傾斜させないでプローブ(62)を移動させることができ、つまり回転子(61)の回転軸線(Q')を両接合部材(51)(52)のプローブ埋入位置における表面の法線(N)と一致させた状態(即ち $\theta = 0^\circ$ )でプローブ(62)を移動させることができ、そのため、接合操作を容易に行うことができるし、接合部(J')の肉厚の減少に伴う接合強度の低下を防止することができるという利点がある。しかしながら、この接合工具によれば、接合速度(即ちプローブの移動速度)を速くすると、接合欠陥が発生し易く、そのため、接合速度を遅く設定しなければならないという難点があった。

【0012】

50

この発明は、上述した技術背景に鑑みてなされたもので、その目的は、径大の回転子と、該回転子の先端面に突設された径小のプロープとを備えた接合工具において、接合速度を速くすることのできる接合工具及びこれを用いた接合継手の製造方法を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明は、以下の手段を提供する。

【0014】

(1) 2個の接合部材の接合予定部又はその近傍部中に埋入される径小のプロープと、前記両接合部材のうち少なくとも一方の接合部材の表面に先端部が当接される径大の回転子とを備え、前記回転子の先端面に、前記プロープが突設された摩擦攪拌接合工具において、前記回転子の先端面に、前記プロープを取り巻く態様で渦巻き状の溝が設けられるとともに、前記プロープの外周面に、該プロープ軸線方向に延びた縦溝が設けられていることを特徴とする摩擦攪拌接合工具。 10

【0015】

(2) 前記プロープ軸線に対する前記縦溝の捻れ角を $\alpha$ とすると、 $\alpha$ が、 $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ の関係式を満足している前項1に記載の摩擦攪拌接合工具。

【0016】

(3) 前記縦溝の幅を $W$ 、前記プロープの直径を $D$ とすると、 $W$ が、 $0.5D \leq W \leq D$ の関係式を満足している前項1は2に記載の摩擦攪拌接合工具。 20

【0017】

(4) 前記縦溝は、断面円弧状に形成されており、前記縦溝の断面の曲率半径を $R$ 、前記プロープの直径を $D$ とすると、 $R$ が、 $0.5D \leq R \leq 2D$ の関係式を満足している前項1～3のいずれか1項に記載の摩擦攪拌接合工具。

【0018】

(5) 前記回転子の先端面は、その外周縁の全ての部分から前記先端面の回転中心部に向かって窪んだ凹面に形成されている前項1～4のいずれか1項記載の摩擦攪拌接合工具。

【0019】

(6) 突合せ接合用のものである前項1～5のいずれか1項に記載の摩擦攪拌接合工具 30

【0020】

(7) 前項1～6のいずれか1項に記載の摩擦攪拌接合工具を用いて、接合を行うことを特徴とする接合継手の製造方法。

【0021】

(8) 回転している前記プロープを突合せ状に配置された2個の接合部材の突合せ部又はその近傍部中に埋入するとともに、回転している前記回転子の先端部を前記両接合部材のうち少なくとも一方の接合部材の表面に当接させた状態に配置し、この状態で、前記回転子の回転軸線を接合方向の前方側及び後方側に傾斜させないで、前記プロープを両接合部材に対して相対的に移動させることにより、突合せ接合を行う前項7に記載の接合継手の製造方法。 40

【0022】

次に、上記の各項の発明を説明する。

【0023】

(1)の発明では、回転子の先端面にプロープを取り巻く態様で渦巻き状の溝が設けられることにより、接合時に回転子の回転軸線を接合方向の後方側に傾斜させる必要がなくなり、もって接合作業を容易に行えるようになる。更には、接合部材の材料の外部への排出が防止される。そのため、接合部の肉厚の減少に伴う接合強度の低下が防止される。さらに、プロープの外周面に、該プロープ軸線方向に延びた縦溝が設けられていることにより、接合部材の材料に対するプロープの攪拌力が増大する。そのため、接合速度の高速化を 50

図ることができる。

【0024】

この発明において、各接合部材としては、例えば、アルミニウム又はその合金製のものであっても良いし、銅又はその合金製のものであっても良いし、鉄系材料製のものであっても良く、その材質に限定されない。また、2個の接合部材は、互いに同種の金属製のものであっても良いし、異種の金属製のものであっても良い。また、各接合部材は、板状のものであっても良いし、柱状や筒状のものであっても良く、その形状に限定されない。また、両接合部材の接合予定部は、突合せ部であっても良いし、重合せ部であっても良いし、すみ部であっても良いし、あるいは接合部材の周方向に延びた部位であっても良い。また、縦溝は、プローブ軸線を含む平面内でプローブ軸線方向に延びたもの（例えばプローブ軸線と平行に延びたもの）であっても良いし、プローブ軸線に対して少し捻れた状態でプローブ軸線方向に延びたものであっても良い。また、縦溝は、プローブの外周面に、プローブ軸線方向の一部の領域にのみ設けられていても良いし、プローブ軸線方向の全領域に亘って設けられていても良い。

10

【0025】

(2)の発明では、縦溝の捻れ角 $\alpha$ が $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ の関係式を満足していることにより、接合部材の材料に対するプローブの攪拌力が大幅に増大する。そのため、接合速度の大幅な高速化を図ることができる。特に $\alpha$ は $0^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ の関係式を満足していることが望ましい。

【0026】

20

(3)の発明では、縦溝の幅 $W$ が $0.5D \leq W \leq D$ の関係式を満足していることにより、接合部材の材料に対するプローブの攪拌力が大幅に増大する。そのため、接合速度の大幅な高速化を図ることができる。特に $W$ は $0.5D \leq W \leq 0.8D$ の関係式を満足していることが望ましい。

【0027】

(4)の発明では、縦溝は、断面円弧状に形成されることにより、接合時に縦溝内において接合部材の材料フローについてのデッドゾーンが生じる不具合を防止することができて、接合部材の材料に対するプローブの攪拌力が更に増大する。そのため、接合速度の更なる高速化を図ることができる。さらに、縦溝の断面の曲率半径 $R$ が $0.5D \leq R \leq 2D$ の関係式を満足していることにより、接合部材の材料に対するプローブの攪拌力が更に大幅に増大する。そのため、接合速度の大幅な高速化を図ることができる。特に $R$ は $0.5D \leq R \leq D$ の関係式を満足していることが望ましい。

30

【0028】

(5)の発明では、回転子の先端面が、その外周縁の全ての部分から前記先端面の回転中心部に向かって窪んだ凹面に形成されていることにより、接合時に回転子の端面の内側に接合部材の材料が収容保持される。そのため、当該材料の外部への排出が確実に防止され、その結果、接合部の肉厚の減少に伴う接合強度の低下が確実に防止される。

【0029】

(6)の発明では、接合工具が突合せ接合用のものであることにより、突合せ接合継手の品質を向上させることができる。また、接合速度を高速に設定することができる。

40

【0030】

(7)の発明では、上記接合工具を用いて接合を行うことにより、接合速度の高速化を図ることができる。

【0031】

(8)の発明では、回転子の回転軸線を接合方向の前方側及び後方側に傾斜させないで、プローブを両接合部材に対して相対的に移動させることができ、そのため、接合操作を容易に行うことができ、また接合作業能率を向上させることができる。

【0032】

【発明の実施の形態】

次に、この発明の好ましい幾つかの実施形態について図面を参照して説明する。

50

## 【0033】

図1において、(1)及び(2)は板状(詳述すると平板状)の金属製接合部材である。この実施形態では、これら両接合部材(1)(2)の双方はアルミニウム又はその合金製のものである。これら両接合部材(1)(2)において、一方の接合部材(1)の肉厚と他方の接合部材(2)の肉厚とは同寸に設定されている。そして、両接合部材(1)(2)は次のように突合せ状に配置されている。すなわち、一方の接合部材(1)の幅方向の一端部と他方の接合部材(2)の幅方向の一端部とが突き合わされるとともに、この突合せ状態において、一方の接合部材(1)の表面と他方の接合部材(2)の表面とが面一に連なっている。さらに、両接合部材(1)(2)の裏面側には、裏当て部材又は支持部材(図示せず)が配置されている。なお、この第1実施形態では、両接合部材(1)(2)の突合せ部(3)が接合予定部である。 10

## 【0034】

図1において、(10A)はこの発明の第1実施形態の摩擦撹拌接合工具である。この接合工具(10A)は、両接合部材(1)(2)の突合せ部(3)の接合に用いられるものである。

## 【0035】

この接合工具(10A)は、図3に示すように、ピン状プローブ(12)と円柱状回転子(11)とを備えている。回転子(11)の少なくとも先端部は、プローブ(12)よりも径大に形成されている。前記プローブ(12)及び回転子(11)は、両接合部材(1)(2)よりも硬質で且つ接合時に発生する摩擦熱に耐え得る耐熱材料から形成されている。 20

## 【0036】

この接合工具(10A)において、前記回転子(11)は、その軸線を回転軸線(Q)とするものであって、該回転軸線(Q)を中心に回転可能なものである。この回転子(11)の先端面(11a)は、その外周縁の全ての部分から前記先端面(11a)の回転中心部に向かって一定の勾配で窪んだ断面逆V字状の凹面に形成されている。換言すると、この回転子(11)の先端面(11a)はその全体が略すり鉢状に窪んだ凹面に形成されている。そして、この回転子(11)の先端面(11a)の回転中心部に前記プローブ(12)が同軸状に一体に突設されている。したがって、回転子(11)の回転軸線(Q)の延長線上にプローブ(12)の軸線が存在している。 30

## 【0037】

さらに、この回転子(11)の先端面(11a)には、図3及び図4に示すように、プローブ(12)の基端部の位置を中心とした渦巻き状の溝(13)が、プローブ(12)の基端部の外周縁から回転子(11)の先端面(11a)の外周縁までの領域に亘ってプローブ(12)を取り巻く態様で設けられている。この溝(13)は断面円弧状に形成されている。また、この回転子(11)の外周面と先端面(11a)との間の角部は、全周に亘って丸く面取りされており、これにより、当該角部の押付けに伴う接合部材(1)(2)の表面の傷付きが防止されるものとなされている。

## 【0038】

前記プローブ(12)の外周面には、図3に示すように、互いに隣接するネジ山及びネジ溝からなる撹拌用凸部(14a)及び凹部(14b)が、プローブ(12)の先端から該プローブ軸線方向中間部までの長さ領域にのみ螺旋状に設けられている。この撹拌用凸部(14a)及び凹部(14b)は、接合部材(1)(2)の材料を撹拌するためのものであり、例えばメートルネジ又はインチネジに準拠して形成されたものである。 40

## 【0039】

さらに、このプローブ(12)の外周面には、プローブ軸線を含む平面内で、プローブ(12)の先端から基端側に向かって該プローブ軸線方向にプローブ軸線と平行に延びた縦溝(15)が、プローブ(12)の先端から該プローブ軸線方向中間部までの長さ領域にのみ設けられている。この縦溝(15)は、図4に示すように断面円弧状に形成されている。 50



## 【0040】

次に、上記第1実施形態の接合工具（10A）を用いて両接合部材（1）（2）の突合せ部（2）を接合する方法（即ち突合せ接合継手の製造方法）について説明する。

## 【0041】

まず、図1に示すように、接合工具（10A）の回転子（11）及びプローブ（12）を回転軸線（Q）を中心に回転させる。この回転子（11）及びプローブ（12）の回転方向（K）については後述する。

## 【0042】

次いで、回転しているプローブ（12）を両接合部材（1）（2）の突合せ部（3）中に両接合部材（1）（2）の表面側から埋入するとともに、回転している回転子（11）の先端部を両接合部材（1）（2）の双方の表面に押し付ける。さらに、回転子（11）の回転軸線（Q）を両接合部材（1）（2）のプローブ埋入位置における表面の法線（N）に一致させる（即ち $Q=N$ ）。このとき、図2に示すように、回転子（11）の先端部は、両接合部材（1）（2）の双方の表面に押し付けられることで、僅かに埋入された状態となる。これらの状態を維持しながら、回転しているプローブ（12）を突合せ部（3）に沿って移動（その移動方向M）させる。このプローブ（12）の移動方向（M）が接合方向となる。なお、この発明では、プローブ（12）の突合せ部（3）中への埋入は、両接合部材（1）（2）の長さ方向の一端面から行っても良いことはもちろんである。

## 【0043】

すると、プローブ（12）の回転により発生する摩擦熱と、回転している回転子（11）の先端面（11a）と両接合部材（1）（2）の表面との摺動に伴い発生する摩擦熱とによって、両接合部材（1）（2）はプローブ（12）及び回転子（11）の先端部との接触部分近傍において軟化する。そして、この軟化した両接合部材（1）（2）の材料は、回転子（11）の先端部からの押付け力を受けることによって、図2に示すように回転子（11）の先端面（11a）の内側に収容保持される。これにより、当該材料が外部へ排出され難くなる。更には、当該材料が、こうして回転子（11）の先端面（11a）からの押付け力を受けることによって、渦巻き状の溝（13）内に食い込み、これにより当該材料の排出がより強く防止されるようになる。

## 【0044】

そして、軟化した両接合部材（1）（2）の材料は、回転子（11）の先端部及びプローブ（12）の回転力によって攪拌混合されるとともに、プローブ（12）の移動に伴って回転子（11）の先端部及びプローブ（12）の通過溝を埋めるように塑性流動したのち、摩擦熱を急速に失って冷却固化する。この現象がプローブ（12）の移動に伴って順次繰り返されていく。こうして両接合部材（1）（2）の突合せ部（3）のプローブ通過部分が接合されて両接合部材（1）（2）が一体化され、もって所望する突合せ接合継手が得られる。なお、図1において、（J）は、突合せ部（3）に形成された摩擦攪拌接合部を示している。

## 【0045】

ここで、この第1実施形態では、回転子（11）の回転方向（K）（即ちプローブ（12）の回転方向）は、図4に示すように、渦巻き状の溝（13）が回転子（11）の先端面（11a）の回転中心部から外周縁側へ進む方向において回転する方向に設定されている。且つ、この回転子（11）の回転方向（K）は、図3に示すように、攪拌用凸部（14a）及び凹部（14b）がプローブ（12）の先端から基端側へ進む方向において回転する方向に設定されている。このように回転子（11）の回転方向（K）を設定することにより、渦巻き状の溝（13）内に食い込んだ材料が回転子（11）の回転に伴いプローブ（12）側へ吸い込まれるように塑性流動され、且つ、攪拌用凸部（14a）に引っ掛かったり攪拌用凹部（14b）内に食い込んだりした材料がプローブ（12）の回転に伴いプローブ（12）の先端側へ押し出されるように塑性流動されるようになる。このため、材料の外部への排出をより一層強く防止することができて、接合部（J）の肉厚の減少を確実に防止することができる。

10

20

30

40

50

## 【0046】

而して、上記接合工具（10A）を用いた突合せ接合継手の製造方法によれば、回転子（11）の先端面（11a）にプローブ（12）を取り巻く態様で渦巻き状の溝（13）が設けられているので、回転子（11）の先端面（11a）の内側に両接合部材（1）（2）の材料をしっかりと保持することができる。そのため、接合部（J）の肉厚の減少に伴う接合強度の低下を防止することができるし、更には、接合時に回転子（11）の回転軸線（Q）を接合方向の前方側及び後方側に傾斜させる必要がなくなり、そのため、接合作業を容易に行うことができる。したがって、この接合工具（10A）によれば、両接合部材（1）（2）の突合せ部（3）がこの第1実施形態のように直線状に延びている場合はもとより、曲線状に延びている場合（図示せず）であっても、接合操作を容易に行うことができる。 10

## 【0047】

さらに、この第1実施形態では、回転子（11）の先端面（11a）は、その外周縁の全ての部分から先端面（11a）の回転中心部に向かって窪んだ凹面に形成されているので、回転子（11）の先端面（11a）の内側に両接合部材（1）（2）の材料をより一層しっかりと収容保持することができる。そのため、接合部（J）の肉厚の減少に伴う接合強度の低下をより確実に防止することができる。さらに、上述したように、回転子（11）の回転方向（K）が所定方向に設定されているから、材料の外部への排出をより一層強く阻止することができ、このため接合強度の低下を更に確実に防止することができる。

## 【0048】

その上、プローブ（11）の外周面には、該プローブ軸線方向にプローブ軸線と平行に延びた縦溝（15）が設けられているので、両接合部材（1）（2）の材料に対するプローブ（12）の攪拌力が増大している。そのため、接合速度の高速化を図ることができる。 20

## 【0049】

加えて、縦溝（15）は断面円弧状に形成されているので、該縦溝（15）内において接合部材（1）（2）の材料フローについてのデッドゾーンが生じる不具合を防止することができる。そのため、接合部材（1）（2）の材料に対するプローブ（12）の攪拌力を更に増大させることができ、接合速度の更なる高速化を図ることができる。

## 【0050】

図5において、（10B）はこの発明の第2実施形態の摩擦攪拌接合工具である。この接合工具（10B）においては、プローブ（12）の外周面には、プローブ（12）の先端から基端側に向かって該プローブ軸線方向に延び且つ該プローブ軸線に対して捻れた縦溝（15）が、プローブ（12）の先端から該プローブ軸線方向中間部までの長さ領域にのみ設けられている。同図において、 $\alpha$ はプローブ軸線に対する縦溝（15）の捻れ角、すなわち縦溝（15）のつる巻線とその上の1点を通りプローブ軸線に平行な直線とのなす角を示している。この縦溝（15）は断面円弧状に形成されている。 30

## 【0051】

この第2実施形態の接合工具（10B）では、回転子（11）の回転方向（K）は、図5に示すように、縦溝（15）がプローブ（12）の先端から基端側へ進む方向において回転する方向に設定されている。このように回転子（11）の回転方向（K）を設定することにより、縦溝（15）内に食い込んだ材料がプローブ（12）の回転に伴いプローブ（12）の先端側へ押し出されるように塑性流動される。そのため、材料の外部への排出をより一層強く阻止することができ、接合部（J）の肉厚の減少を確実に防止することができる。 40

## 【0052】

この第2実施形態の接合工具（10B）の他の構成は、上記第1実施形態の接合工具（10A）と同じであり、重複する説明を省略する。また、この第2実施形態の接合工具（10B）を用いた接合継手の製造方法についても、上記第1実施形態の接合工具（10A）を用いた接合継手の製造方法と同じであり、重複する説明を省略する。

## 【0053】

上記第2実施形態の接合工具(10B)において、図5に示すように、 $\alpha$ は次の関係式(i)を満足していることが望ましい。

【0054】

$$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ \quad \dots (i)$$

【0055】

なお、上記第2実施形態の接合工具(10B)において、 $\alpha$ が $0^\circ$ に設定されたものが上記第1実施形態の接合工具(10A)である。

【0056】

$\alpha$ が上記関係式(i)を満足していることにより、接合部材(1)(2)の材料に対するプローブ(12)の攪拌力が大幅に増大する。そのため、接合速度の大幅な高速化を図ることができる。特に $\alpha$ は次の関係式(i')を満足していることが良い。

【0057】

$$0^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ \quad \dots (i')$$

【0058】

また、上記第1実施形態及び第2実施形態の接合工具(1)(2)において、図3及び5に示すように、縦溝(15)の幅をW、プローブ(12)の直径(呼び径)をDとすると、Wは、次の関係式(ii)を満足していることが望ましい。

【0059】

$$0.5D \leq W \leq D \quad \dots (ii)$$

【0060】

Wが上記関係式(ii)を満足していることにより、接合部材(1)(2)の材料に対するプローブ(12)の攪拌力が大幅に増大する。そのため、接合速度の大幅な高速化を図ることができる。特にWは次の関係式(ii')を満足していることが良い。

【0061】

$$0.5 \leq W \leq 0.8D \quad \dots (ii')$$

【0062】

また、上記第1実施形態及び第2実施形態の接合工具(10A)(10B)において、図3及び5に示すように、縦溝(15)の断面の曲率半径をR、プローブ(12)の直径(呼び径)をDとすると、Rは、次の関係式(iii)を満足していることが望ましい。

【0063】

$$0.5D \leq R \leq 2D \quad \dots (iii)$$

【0064】

Rが上記関係式(iii)を満足していることにより、接合部材(1)(2)の材料に対するプローブ(12)の攪拌力が大幅に増大する。そのため、接合速度の大幅な高速化を図ることができる。特にRは次の関係式(iii')を満足していることが良い。

【0065】

$$0.5D \leq R \leq D \quad \dots (iii')$$

【0066】

而して、この発明に係る接合工具は、上記実施形態に示したものに限定されるものではなく、様々に設定変更可能である。

【0067】

例えば、縦溝(15)の個数は複数個(例えば2~6個)であっても良い。この場合において、これら複数個の縦溝は、互いに所定の位相差をもってプローブ(12)の外周面に設けられていても良い。

【0068】

また、渦巻き状の溝(13)は複数個(例えば2~6個)であっても良い。この場合において、これら複数個の渦巻き状の溝は、互いに所定の位相差をもって回転子(11)の先端面(11a)に設けられていても良い。

【0069】

また、回転子(11)の先端面(11a)は、その外周縁の全ての部分から該先端面(1

10

20

30

40

50

1 a) の回転中心部に向かって丸く窪んだ断面円弧状の凹面に形成されていても良い。換言すると、回転子(11)の先端面(11a)はその全体が碗(わん)状に窪んだ凹面に形成されていても良い。

【0070】

また、この発明に係る接合継手の製造方法は、上記実施形態に示したものに限定されるものではなく、様々に設定変更可能である。

【0071】

例えば、この発明では、接合操作は次のように行っても良い。すなわち、接合工具の回転しているプローブ(12)を突合せ状に配置された両接合部材(1)(2)の突合せ部(3)中に埋入し、この埋入状態でプローブ(12)の位置を固定しておき、突合せ部(3)が順次このプローブ(12)を通過するように両接合部材(1)(2)を移動させることにより、突合せ接合を行っても良い。 10

【0072】

また、接合工具の回転しているプローブ(12)を、両接合部材(1)(2)の突合せ部(3)ではなく、該突合せ部(3)の近傍部中に埋入しても良い。

【0073】

【実施例】

次に、この発明の具体的実施例及び比較例を示す。

【0074】

2個のアルミニウム合金製板状接合部材(材質:A5083-O)を準備した。各接合部材の厚さは6mmである。両接合部材を突合せ状に配置し、その突合せ部を接合するため、以下の接合工具を準備した。これらの接合工具の構成の特徴を表1にまとめて示す。 20

【0075】

【表1】

	渦巻き 状の有無	縦溝 の有無	縦 溝				接合速度	接合状態
			断面 形状	捻れ角 $\alpha$	幅 W	曲率半径 R		
実施例 1	あり	あり	円弧状	0°	4 mm (0.5 D)	4 mm (0.5 D)	400 mm/min	○
実施例 2	あり	あり	円弧状	0°	4 mm (0.5 D)	8 mm (D)	600 mm/min	○
実施例 3	あり	あり	円弧状	0°	6.4 mm (0.8 D)	4 mm (0.5 D)	400 mm/min	○
実施例 4	あり	あり	円弧状	0°	6.4 mm (0.8 D)	8 mm (D)	600 mm/min	○
実施例 5	あり	あり	円弧状	0°	4 mm (0.5 D)	16 mm (2 D)	400 mm/min	○
実施例 6	あり	あり	円弧状	0°	8 mm (D)	4 mm (0.5 D)	600 mm/min	○
実施例 7	あり	あり	円弧状	0°	8 mm (D)	16 mm (2 D)	400 mm/min	○
実施例 8	あり	あり	円弧状	10°	4 mm (0.5 D)	4 mm (0.5 D)	600 mm/min	○
実施例 9	あり	あり	円弧状	10°	8 mm (D)	16 mm (2 D)	400 mm/min	○
実施例 10	あり	あり	円弧状	30°	4 mm (0.5 D)	4 mm (0.5 D)	600 mm/min	○
実施例 11	あり	あり	コ字状	0°	4 mm (0.5 D)	—	400 mm/min	○
比較例 1	あり	あり	円弧状	0°	2 mm (0.25 D)	2 mm (0.25 D)	400 mm/min	○
比較例 2	あり	なし	—	—	—	—	400 mm/min	○
比較例 3	なし	あり	円弧状	0°	4 mm (0.5 D)	4 mm (0.5 D)	600 mm/min	×

10

20

30

## 【0076】

&lt;実施例 1～10&gt;

実施例 1～10では、接合工具として、図 3 及び図 5 に示した上記第 1 実施形態及び上記第 2 実施形態の接合工具 (10A) (10B) を準備した。この接合工具 (10A) (10B) の構成は次のとおりである。

- ・回転子の先端部の直径…24 mm
- ・プローブの直径 D…8 mm
- ・プローブの長さ…6 mm
- ・縦溝の断面形状…円弧状
- ・縦溝の捻れ角  $\alpha$ …表 1 に示す。
- ・縦溝の幅 W…表 1 に示す。
- ・縦溝の断面の曲率半径 R…表 1 に示す。

40

50

・回転子及びプローブの回転数… 5 5 0 r p m

【0077】

<実施例11>

実施例11では、接合工具として、図6に示した接合工具(10C)を準備した。この接合工具(10C)では、縦溝(15)は断面コ字状に形成されている。縦溝(15)の捻れ角 $\alpha$ は $0^\circ$ であり、縦溝(15)の幅Wは4mmであり、縦溝(15)の深さFは2mmである。この接合工具(10C)の他の構成は、実施例1～10の接合工具(10A)(10B)と同じである。

【0078】

<比較例1>

比較例1では、接合工具として、図3に示した上記第1実施形態の接合工具(10A)を準備した。ただし、この接合工具(10A)では、縦溝(15)の捻れ角 $\alpha$ は $0^\circ$ であり、縦溝(15)の幅Wは2mmであり、縦溝(15)の断面の曲率半径Rは2mmである。この接合工具の他の構成は、実施例1～10の接合工具(10A)(10B)と同じである。

10

【0079】

<比較例2>

比較例2では、接合工具として、図7に示した接合工具(10D)を準備した。この接合工具(10D)では、プローブ(12)の外周面には縦溝は設けられていない。この接合工具(10D)の他の構成は、実施例1～10の接合工具(10A)(10B)と同じである。

20

【0080】

<比較例3>

比較例3では、接合工具として、図示していないが、回転子の先端面に渦巻き状の溝が設けられていないものを準備した。この接合工具において、縦溝の捻れ角 $\alpha$ は $0^\circ$ であり、縦溝の幅Wは4mmであり、縦溝の断面の曲率半径は4mmである。この接合工具の他の構成は、実施例1～10の接合工具(10A)(10B)と同じである。

【0081】

上記の接合工具を用いて、両接合部材の突合せ部を上記第1実施形態に示した接合継手の製造方法に従って接合した。この接合においては、いずれも、接合工具の回転子の回転軸線(Q、図1参照)を、接合方向の前方側及び後方側に傾斜させないで、両接合部材のプローブ埋入位置における表面の法線(N、図1参照)と一致させて(即ち $Q=N$ 、 $\theta=0^\circ$ )、接合を行った。また、この接合では、接合速度を400mm/minと600mm/minに設定した。そして、それぞれの接合速度で接合を行った場合での接合部の接合状態を調べた。この結果を表1に示す。

30

【0082】

なお、同表中の接合状態の欄において、◎は接合状態が極めて良好(接合欠陥の発生率0～5%未満)、○は接合状態がやや良好(接合欠陥の発生率5～20%未満)、△は接合状態が普通(接合欠陥の発生率20～50%未満)、接合状態が不良(接合欠陥の発生率50%以上)であることをそれぞれ示している。

40

【0083】

同表に示すように、実施例1～11の接合工具を用いて接合を行った場合には、比較例1～3の接合工具を用いて接合を行った場合に比べて、接合速度を高速に設定することができた。また、実施例1～11の接合工具を用いて接合を行った場合には、接合部の肉厚が殆ど減少しておらず、したがって接合部の肉厚の減少に伴う接合強度の低下を防止できることが分かった。特に実施例1～4の接合工具が優れていることが分かった。

【0084】

【発明の効果】

上述の次第で、この発明は次の効果を奏する。

【0085】

50

(1)の発明では、回転子の先端面にプローブを取り巻く態様で渦巻き状の溝が設けられているので、接合時に回転子の回転軸線を接合方向の後方側に傾斜させる必要がなくなり、そのため接合作業を容易に行うことができるし、接合部の肉厚の減少に伴う接合強度の低下を防止することができる。さらに、プローブの外周面に、該プローブ軸線方向に延びた縦溝が設けられているので、接合部材の材料に対するプローブの攪拌力が増大し、そのため、接合速度の高速化を図ることができる。

【0086】

(2)～(4)の発明では、縦溝の捻れ角 $\alpha$ 、幅W及び曲率半径Rがそれぞれ所定の関係式を満足しているので、接合部材の材料に対するプローブの攪拌力が大幅に増大する。そのため、接合速度の大幅な高速化を図ることができる。

10

【0087】

(5)の発明では、回転子の先端面が、その外周縁の全ての部分から前記先端面の回転中心部に向かって窪んだ凹面に形成されているので、接合時に回転子の端面の内側に接合部材の材料をしっかりと収容保持することができる。そのため、接合部の肉厚の減少に伴う接合強度の低下を確実に防止することができる。

【0088】

(6)の発明では、接合工具を用いて突合せ接合を行うことにより、突合せ接合継手の品質を向上させることができし、また接合速度の高速化を図ることができる。

【0089】

(7)の発明では、接合速度の高速化を図ることができる。

20

【0090】

(8)の発明では、回転子の回転軸線を接合方向の前方側及び後方側に傾斜させないで、プローブを両接合部材に対して相対的に移動させることができ、そのため、接合操作を容易に行うことができ、また接合作業能率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1実施形態の接合工具を用いて接合を行う場合における接合途中の状態を示す斜視図である。

【図2】図1中のA-A線拡大断面図である。

【図3】第1実施形態の接合工具の一部切欠き側面図である。

【図4】図3中のB-B線断面図である。

30

【図5】この発明の第2実施形態の接合工具の一部切欠き側面図である。

【図6】実施例11の接合工具を示す、図4に対応する図である。

【図7】比較例2の接合工具を示す、図4に対応する図である。

【図8】従来の接合工具を用いて接合を行う場合の接合途中の状態を示す斜視図である。

【符号の説明】

1、2…接合部材

3…突合せ部（接合予定部）

10A、10B、10C…摩擦攪拌接合工具

11…回転子

11a…回転子の先端面

40

12…プローブ

13…渦巻き状の溝

15…縦溝

Q…回転子の回転軸線

K…回転方向

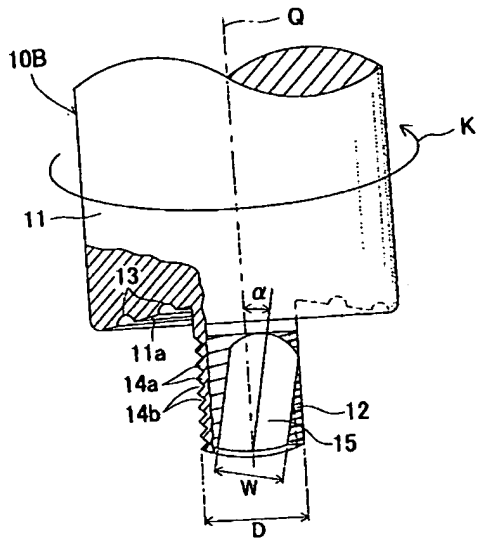
M…移動方向（接合方向）

J…摩擦攪拌接合部

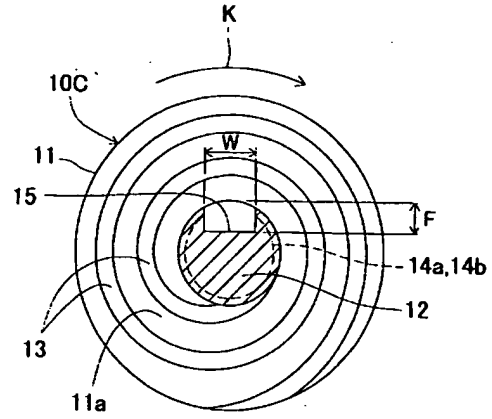




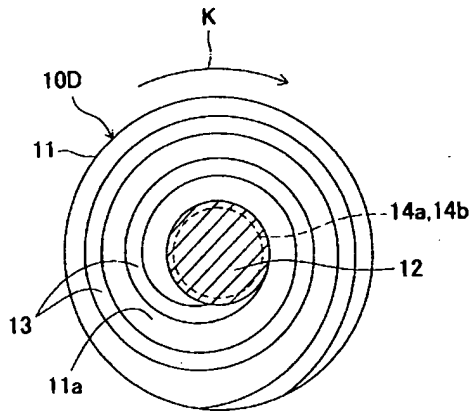
【図 5】



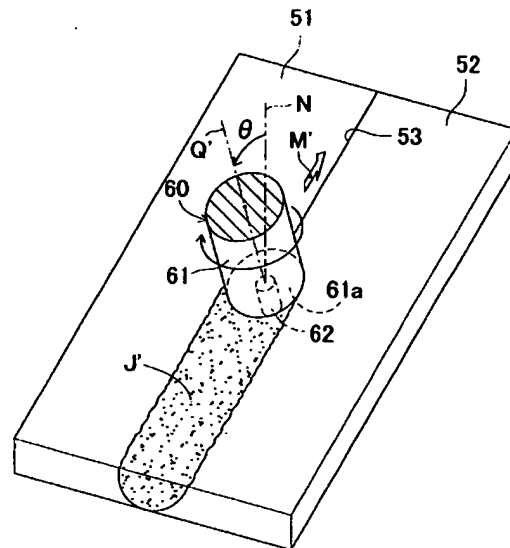
【図 6】



【図 7】



【図 8】



---

フロントページの続き

(72)発明者 橋本 武典

栃木県小山市犬塚1丁目480番地 昭和電工株式会社小山事業所内

Fターム(参考) 4E067 AA05 BG00 CA01 EC01